

# Гидрологические расчеты часть I

## Лекция №5

*Для студентов ФЗО  
гидрологического факультета  
РГГМУ*

© к.г.н., доц. Сикан Александр Владимирович



# Факторы, влияющие на формирование годового стока

## Климатические факторы

Осадки

Испарение

Температура

Влажность воздуха

Характер атмосферной циркуляции

## Факторы подстилающей поверхности

Площадь водосбора

Рельеф

Почвенный покров

Залесенность,  
заболоченность,  
озерность

Гидрогеологические условия

## Антропогенные факторы

Регулирование стока

Водозаборы

Межбассейновая переброска стока

Гидромелиорация

Агротехнические мероприятия

Урбанизация

# 1. Климатические факторы

## 1.1. Атмосферные осадки



Атмосферные осадки (наряду с испарением) являются одним из главных факторов формирования стока.

Другие климатические факторы влияют на сток косвенно, увеличивая или уменьшая осадки и испарение.

*Осадки, выпадающие в зимний период в виде снега, дают больший сток, чем летне-осенние осадки, так как значительная часть последних теряется на испарение.*

*Одно и то же количество осадков, выпавшее при кратковременном интенсивном ливне, дает больший сток, чем при продолжительном обложном дожде.*

## 1.2. Испарение



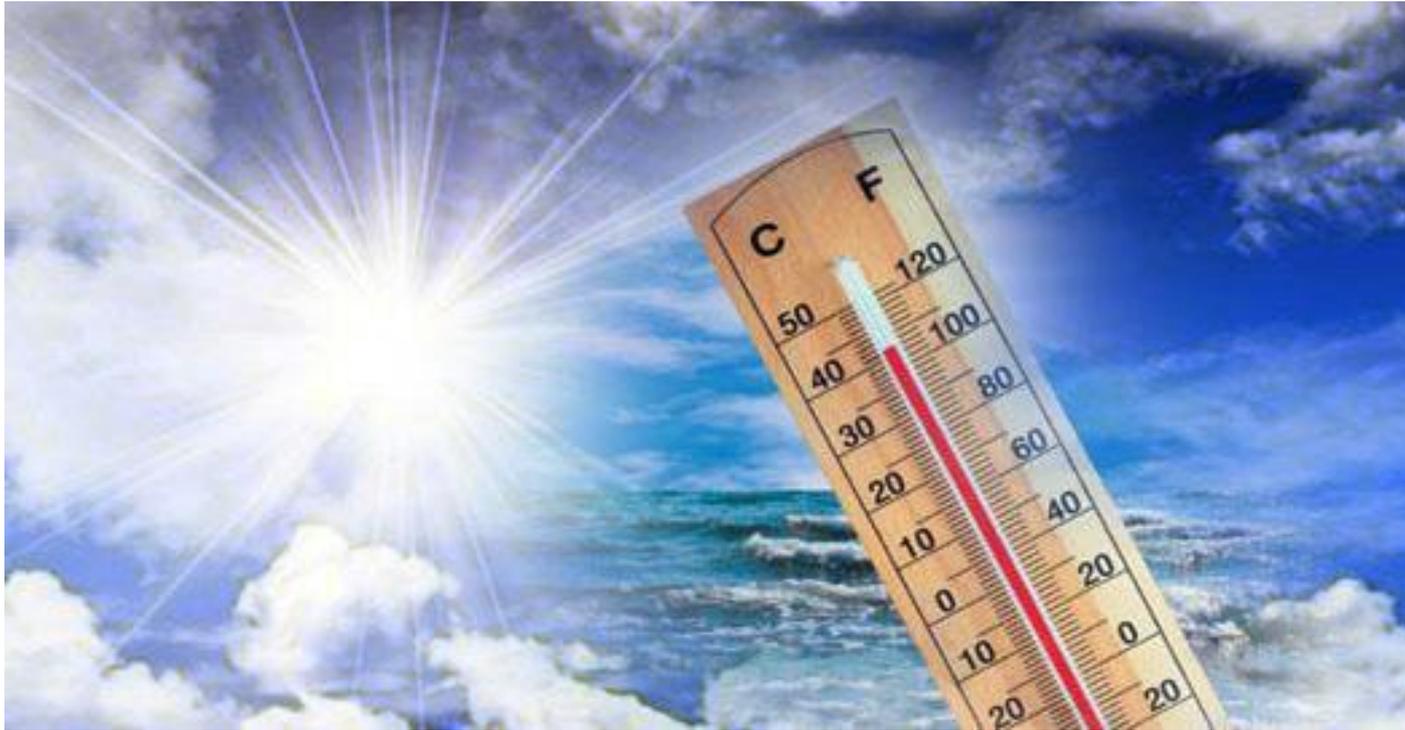
Различают три вида испарения:

1. с водной поверхности,
2. с поверхности почвы,
3. с растительного покрова (транспирация).

*Испарение является составной частью водного баланса. Чем больше испарение с поверхности бассейна, тем меньше речной сток.*

*Величина испарения зависит от температуры и влажности воздуха, скорости ветра и характера испаряющей поверхности.*

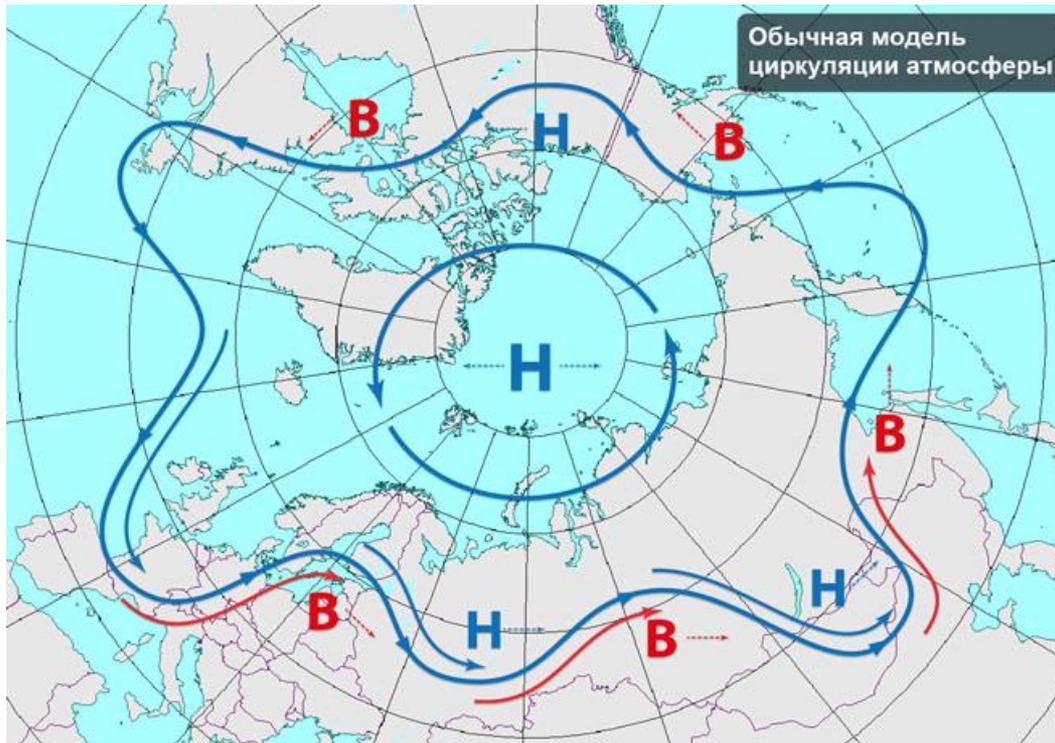
## 1.3. Температура воздуха



*Температура воздуха и ее внутригодовое распределение оказывает существенное влияние на величину годового стока.*

*В районах с жарким климатом большая часть осадков расходуется на испарение, а меньшая – на сток.*

## 1.4. Атмосферная циркуляция



*Атмосферная циркуляция* обусловлена неоднородным распределением атмосферного давления, из-за неодинакового нагревания земной поверхности на разных широтах, а также над материками и океанами.

*Под влиянием силы Кориолиса в атмосфере постоянно возникают вихревые движения крупного масштаба - циклоны и антициклоны, перемещение которых определяет погоду на обширных территориях.*

*Циклоны формируются на границе раздела холодных и теплых воздушных масс. В районах с активной циклонической деятельностью выпадает большое количество осадков и наблюдается повышенная водность рек.*

*Климатические факторы по разному влияют на статистические характеристики годового стока.*

Чем суше и жарче климат, тем меньше норма годового стока, но больше коэффициент вариации.

И наоборот в районах достаточного и избыточного увлажнения норма стока возрастает, а коэффициент вариации уменьшается.

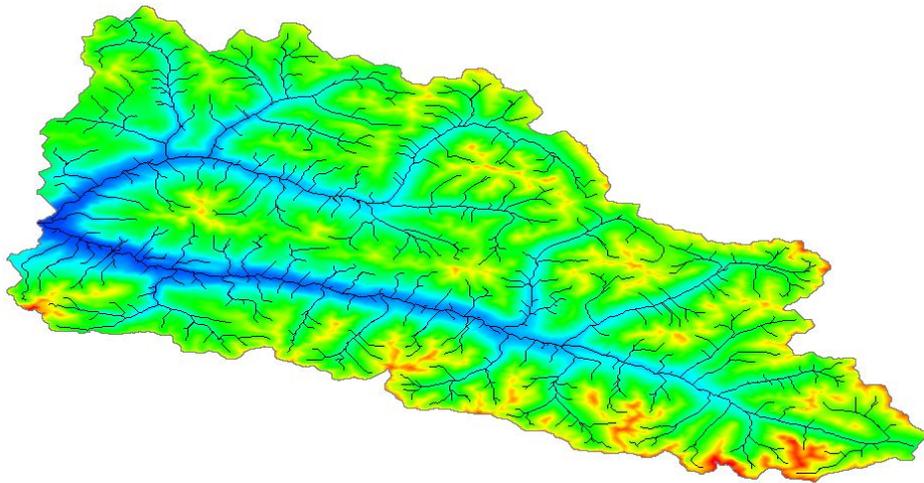
Для нормы годового стока и коэффициента вариации хорошо прослеживается широтная и высотная зональность.

Коэффициент асимметрии годового стока обычно увеличивается с увеличением коэффициента вариации, но отношение  $C_s/C_v$  меняется незначительно и остается постоянным в пределах обширных территорий.

Для большей части территории России  $C_s/C_v = 2$ .

# 2. Факторы подстилающей поверхности

## 2.1. Влияние площади водосбора на годовой сток



Для средних рек норма годового стока и коэффициент вариации (как правило) не зависят от площади водосбора, что дает основание картировать эти характеристики.

Для малых рек площадь водосбора может служить косвенным показателем глубины эрозионного врезания русла и характеризовать степень дренирования рекой грунтовых вод.

В зоне достаточного увлажнения с возрастанием площади водосбора увеличивается степень дренирования рекой почвенных и грунтовых вод и как следствие увеличивается ее средний многолетний модуль стока.

С увеличением площади водосбора питание реки становится более устойчивым, что приводит к снижению коэффициента вариации.

В пустынных, полупустынных зонах и отдельных степных районах грунтовые воды залегают очень глубоко и не дренируются не только малыми, но и некоторыми средними реками.



В таких районах для малых рек наблюдается **обратная зависимость** среднего многолетнего модуля стока от площади водосбора.

Это связано с тем, что в засушливых районах равнинных территорий у малых рек меньше потери на испарение.

*Причины: меньшее время добегания и меньше бессточных площадей.*



Коэффициенты вариации в этих районах достаточно высокие, их связь с площадью водосбора, как правило, неустойчивая.

## 2.2. Влияние рельефа на годовой сток

### Уклон реки и уклон склонов

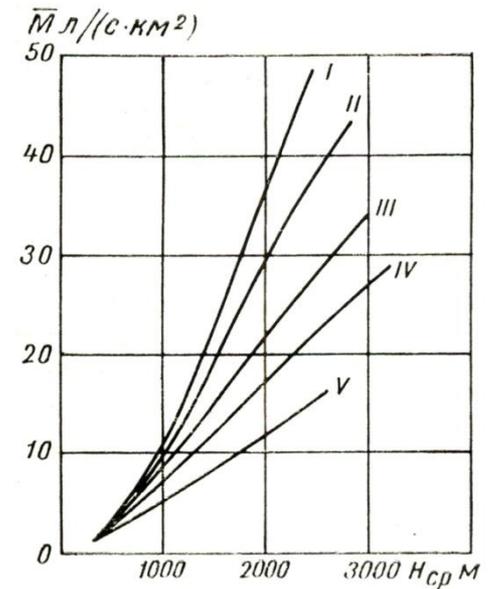
С увеличением уклонов сокращается время добегания воды до замыкающего створа, что приводит к уменьшению потерь на испарение.

Однако это имеет существенное значение только для малых водотоков, которые питаются в основном поверхностными водами.

Средняя высота водосбора оказывает на годовой сток косвенное влияние – через осадки и испарение. До определенной отметки годовая сумма осадков с высотой увеличивается.

Ориентация склонов также оказывает на годовой сток косвенное влияние. На наветренных склонах обычно выпадает больше осадков.

Например западные склоны Уральских гор орошаются осадками на 150-200 мм обильнее, чем восточные.



Зависимость среднего многолетнего модуля годового стока от средней высоты водосбора для горных р-нов России и прилегающих территорий (по К.В. Воскресенскому)

## 2.3. Влияние на годовой сток почвенного покрова



На годовой сток рек наибольшее влияние оказывают водопропускные и водоудерживающие свойства почвы, зависящие от ее механического и химического состава.

Например интенсивность фильтрации песками и супесями в 5-10 больше интенсивности фильтрации суглинками и глинами.

*Существенное влияние на снижение фильтрационных свойств почв оказывает наличие коллоидов (студенистых веществ органического происхождения), которые заполняют часть пор верхнего слоя почво-грунтов.*

*Большое влияние на режим стока также оказывают структурированность почв. Структурные комковатые почвы легко пропускают воду и могут ее удерживать в большом количестве.*

## 2.4. Влияние на годовой сток озер, лесов и болот

Влияние озер на норму годового стока заключается в уменьшении стока за счет большего испарения с водной поверхности по сравнению с сушей. Это влияния наиболее заметно в засушливых районах и очень слабо выражено в зонах достаточного и избыточного увлажнения.

Влияние лесов на норму годового стока неоднозначно и зависит от физико-географической зоны, размеров водосборной площади реки, площади занятой лесом, свойств почвы и др. факторов.

Влияние болот на норму годового стока выражено слабо и зависит от микроклиматических условий, типа болот, величины заболченности водосбора и др. факторов.

В зоне достаточного увлажнения влияние болот на норму годового стока не выявлено.

## 2.5. Влияние на годовой сток гидрогеологических условий

Гидрогеологические условия определяются распространением водовмещающих пород, которые характеризуют способность подземного бассейна к аккумуляции и последующей сработке запасов воды в форме подземного стока.

Доля подземного стока в общем стоке рек по отдельным бассейнам колеблется от 5-8% до 50% и в среднем составляет 10-15 %.

Реки с большой долей подземного стока как правило имеют более низкий коэффициент вариации годового стока.

В отдельных районах заметное влияние на величину годового стока оказывает карст. В наибольшей степени это влияние проявляется на малых реках ( $F < 500 \text{ км}^2$ ), где поверхностные и подземные водосборы могут существенно различаться.

Влияние карстующихся пород на годовой сток снижается по мере увеличения размеров бассейна реки, поскольку уменьшается удельный вес участков с интенсивным развитием карста.

# 3. Антропогенные факторы

**3.1. Регулирование стока** осуществляется с помощью водохранилищ. Строительство водохранилищ приводит к увеличению испарения с поверхности бассейна и снижению нормы годового стока.

Фильтрация из ложа водохранилищ вызывает подъем грунтовых вод, в результате чего увеличивается испарение с суши (а не только с водной поверхности).

Различают многолетнее, сезонное, недельное и суточное регулирование. Чем выше степень регулирования стока, тем большего объема необходимо водохранилище, и тем больше будут дополнительные потери на испарение. Однако на норму годового стока влияет не абсолютная, а относительная площадь водохранилища.

Наибольшее снижение нормы годового стока наблюдается при строительстве водохранилищ в районах недостаточного увлажнения.

В зонах достаточного и избыточного увлажнения влияние водохранилищ на величину годового стока проявляется слабо.

Водоохранилища многолетнего регулирования осуществляют перераспределение стока между многоводными и маловодными годами, что приводит к снижению коэффициента вариации годового стока.

**3.2. Водозаборы** из рек осуществляются для питьевого, хозяйственного и промышленного водоснабжения и приводят к снижению нормы годового стока реки.

Даже если отработанные воды возвращаются в реку, всегда имеют безвозвратные потери.

Если из года в год объем изымаемой из реки воды не постоянен, то это может приводить к изменению коэффициента вариации годового стока (как правило - увеличению).

**3.3. Межбассейновая переброска стока** приводит к снижению нормы годового стока в водозаборном бассейне и увеличению в бассейне-приемнике.

При этом коэффициент вариации годового стока в водозаборном бассейне возрастает, а бассейне-приемнике уменьшается.

Степень изменения статистических характеристик зависит от объема перебрасываемой воды.

## 3.4. Гидромелиорация

### Орошение (ирригация)



Орошение приводит к снижению величины годового стока реки. Забираемые на орошение воды тратятся на испарение, транспирацию растительностью, фильтрацию в почву.

Часть воды возвращается обратно в реку через поверхностный и подземный сток. Возвратные воды могут составлять 30-40% и более от забираемого на орошение объема воды.

*Изъятие воды на орошение приводит не только к снижению величины годового стока реки, но и к увеличению коэффициента вариации.*

*В наибольшей степени орошение оказывает влияние на сток малых рек.*

## Осушение



Осушение болот и заболоченных земель осуществляется за счет искусственно увеличенной дренирующей способности территории.

Это приводит к более быстрому добеганию талых и дождевых вод и снижению уровня грунтовых вод.

Уменьшение времени добегания способствует уменьшению потерь на испарение и приводит к некоторому увеличению годового стока.

*На малых реках сток может уменьшаться. Это возможно если разгрузка дренажной системы полностью или частично будет проводиться в бассейн другой реки.*

*Степень влияния осушения на величину годового стока существенно зависит от типа болот, климата региона и вида хозяйственного использования осушенных территорий.*

### 3.5. Агротехнические мероприятия

Агротехнические мероприятия (распашка территории, создание защитных лесных полос, снегозадержание) замедляют поверхностный сток и удерживают влагу на полях.

Это приводит к снижению нормы годового стока рек за счет увеличения испарения с почвы и транспирации.

Наибольшее влияние агротехнические мероприятия оказывают на малые реки зоны недостаточного увлажнения, где снижение нормы годового стока под влиянием поперечной распашки склонов может достигать 20-25%.

Снижение нормы годового стока средних рек под влиянием агротехнических мероприятий обычно не превышает 10%.

## 3.6. Урбанизация

Урбанизированной территорией принято считать часть водосбора занятую городами, поселками, деревнями, карьерами, шахтами, железными и шоссейными дорогами.

Изменение речного стока под влиянием урбанизации происходит в результате замены естественных ландшафтов зданиями, транспортными магистралями, канализационными сетями, асфальтовыми и другими искусственными покрытиями.

Крупные города оказывают влияние не только на подстилающую поверхность, но и на климат региона.

Урбанизация оказывает разнонаправленное воздействие на величину годового стока.

Для количественной оценки влияния урбанизации на речной сток производят параллельные наблюдения на урбанизированном водосборе и на реке-аналоге, где урбанизация отсутствует или выражена слабо.

## **Для оценки влияния хозяйственной деятельности на речной сток используют следующие методы:**

1. Статистический анализ рядов годового стока за периоды с естественным и нарушенным стоком.
2. Сопоставление коэффициентов стока за периоды с естественным и нарушенным стоком.
3. Анализ изменения составляющих водного и теплового баланса.
4. Сопоставление зависимостей годового стока от стокоформирующих факторов за периоды с естественным и нарушенным стоком с использованием аппарата множественной линейной регрессии.
5. Сопоставление характеристик годового стока на водосборе с активной хозяйственной деятельностью и реке-аналоге, где такое воздействие отсутствует.
6. Экспериментальные исследования.

## Факторы, влияющие на внутригодичное распределение стока

- Климатические факторы
  - Осадки, испарение, температура воздуха и их внутригодичное распределение
- Факторы подстилающей поверхности
  - Проточные озера
  - Карст
  - Широкие поймы
  - Площадь водосбора
  - Болота
  - Лес
- Антропогенные факторы
  - Регулирование стока
  - Урбанизация
  - Межбассейновая переброска стока
  - Водозаборы

## **Влияние климатических факторов**

В зависимости от климатических условий на территории России можно выделить 4 основных типа внутригодового распределения стока:

- 1. Реки с преобладающим весенним половодьем.*
- 2. Реки с весенним половодьем и летними (или летне-осенними) паводками.*
- 3. Реки с преобладающими летними (или летне-осенними) паводками*
- 4. Реки субтропических районов с паводками в осенне-зимний период или в течение всего года.*

## Реки с преобладающим весенним половодьем

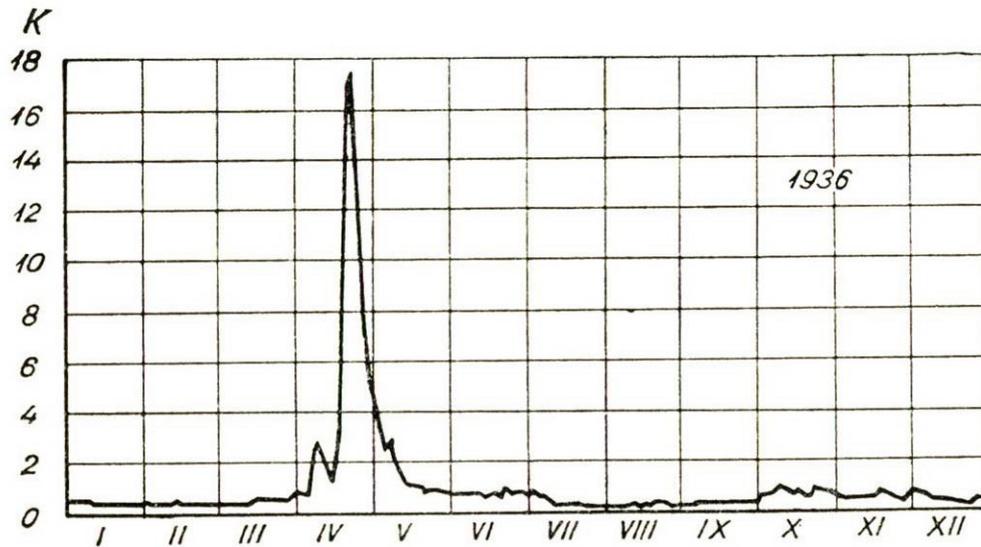


Рис. 76. Восточноевропейский подтип режима расходов (р. Волга — г. Калинин).

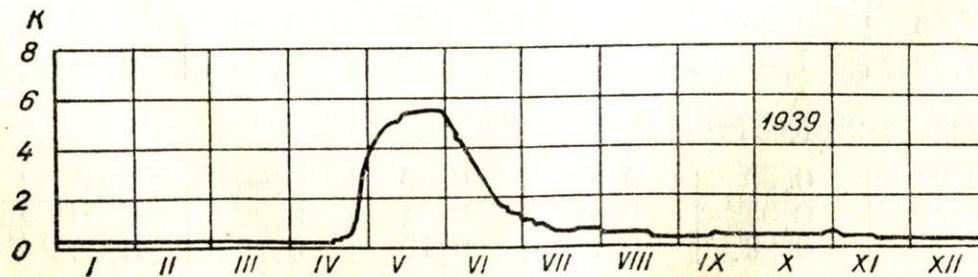
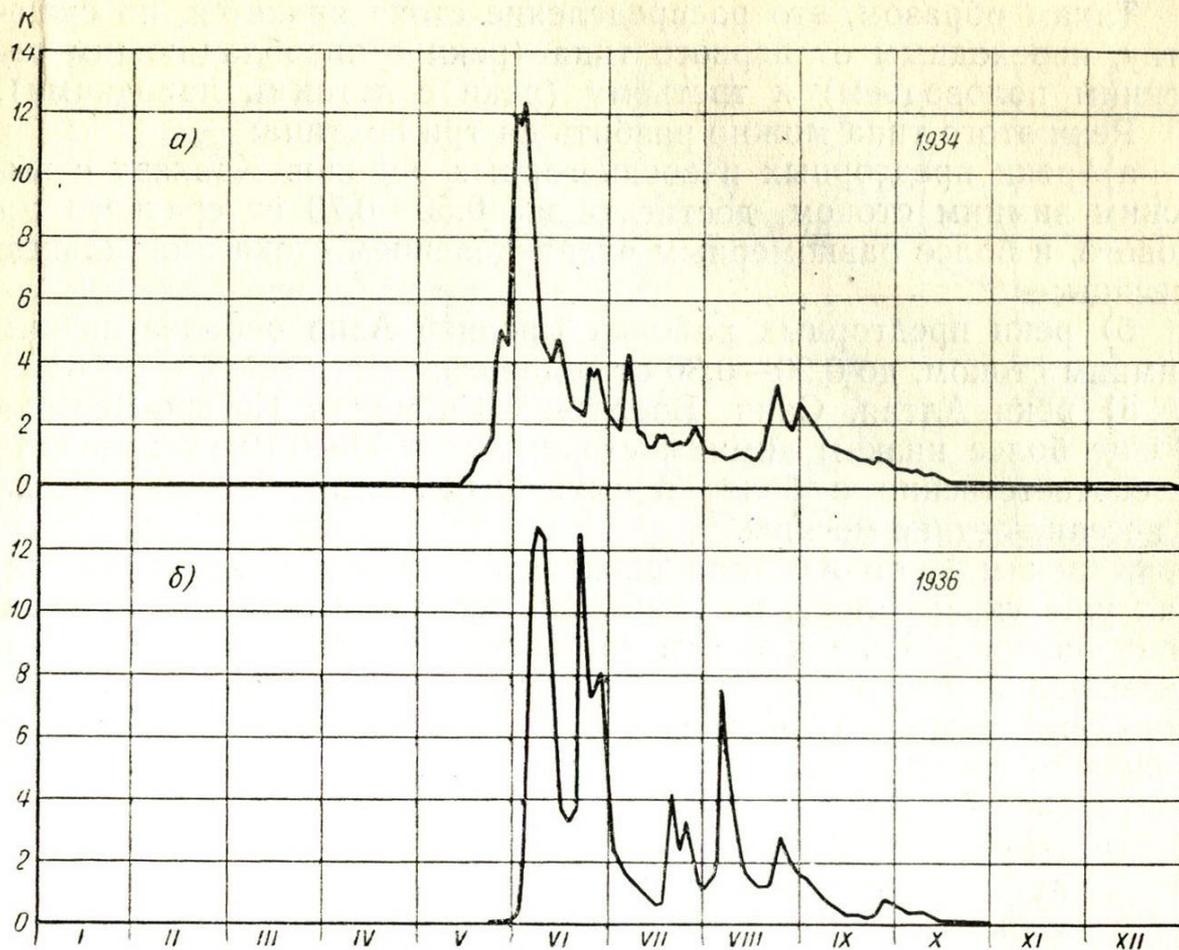


Рис. 76а. Западносибирский подтип режима расходов (р. Васюган — с. Васюган).

Минимальный сток на таких реках наблюдается в зимний или в летне-осенний период.

## Реки с весенним половодьем и летними (или летне-осенними) паводками



Минимальный сток на таких реках наблюдается в зимний период.

Рис. 77. Восточносибирский подтип режима расходов.

а — р. Колыма выше устья р. Боханчи, б — р. Анабара — с. Саскылах.

## Реки с преобладающими летними (или летне-осенними) паводками



Минимальный сток на таких реках наблюдается зимой или в начале весны.

*Реки субтропических районов с паводками  
в осенне-зимний период или в течение всего года*

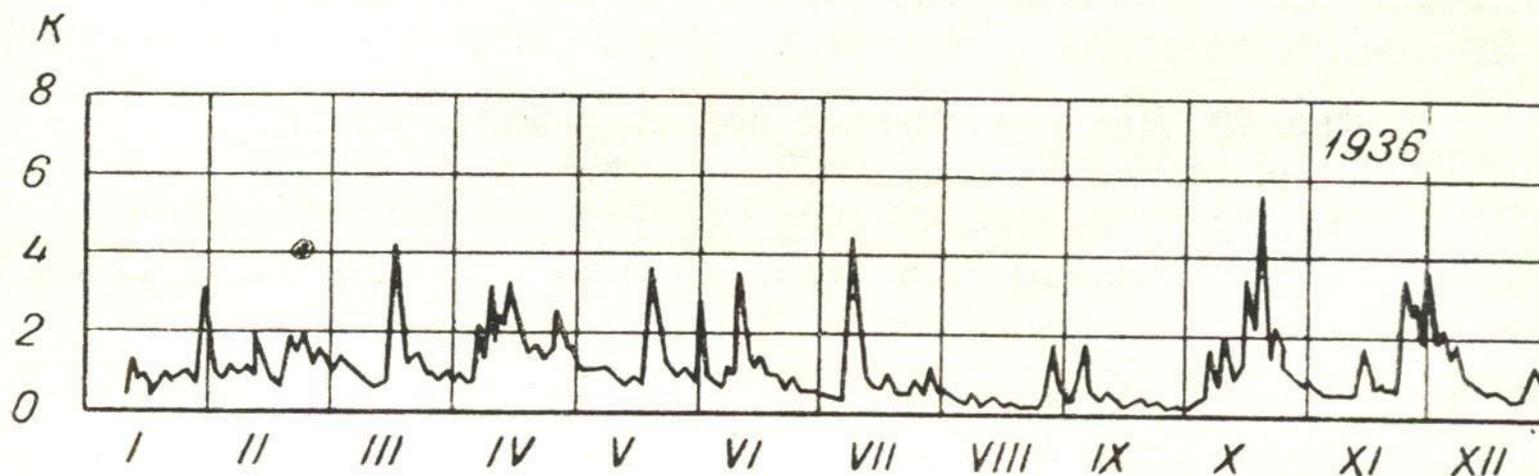


Рис. 81. Причерноморский подтип режима расходов (р. Сочи — с. Пластунка).

Минимальные расходы обычно наблюдаются летом, но межень не продолжительная и нередко прерывается ливневыми паводками.

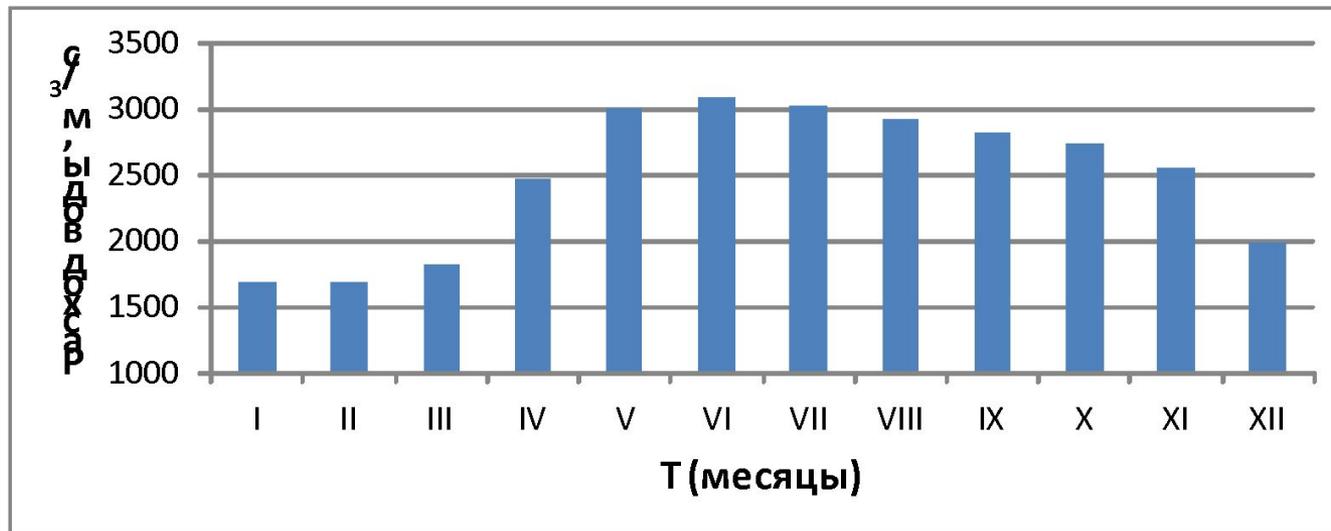
# Факторы подстилающей поверхности

## Проточные озера

Озера проточного типа являются естественными регуляторами стока.

Они перераспределяют сток внутри года и сглаживают гидрограф:

- максимальные расходы снижаются;
- меженные расходы увеличиваются.



Река Нева – д. Новосаратовка.

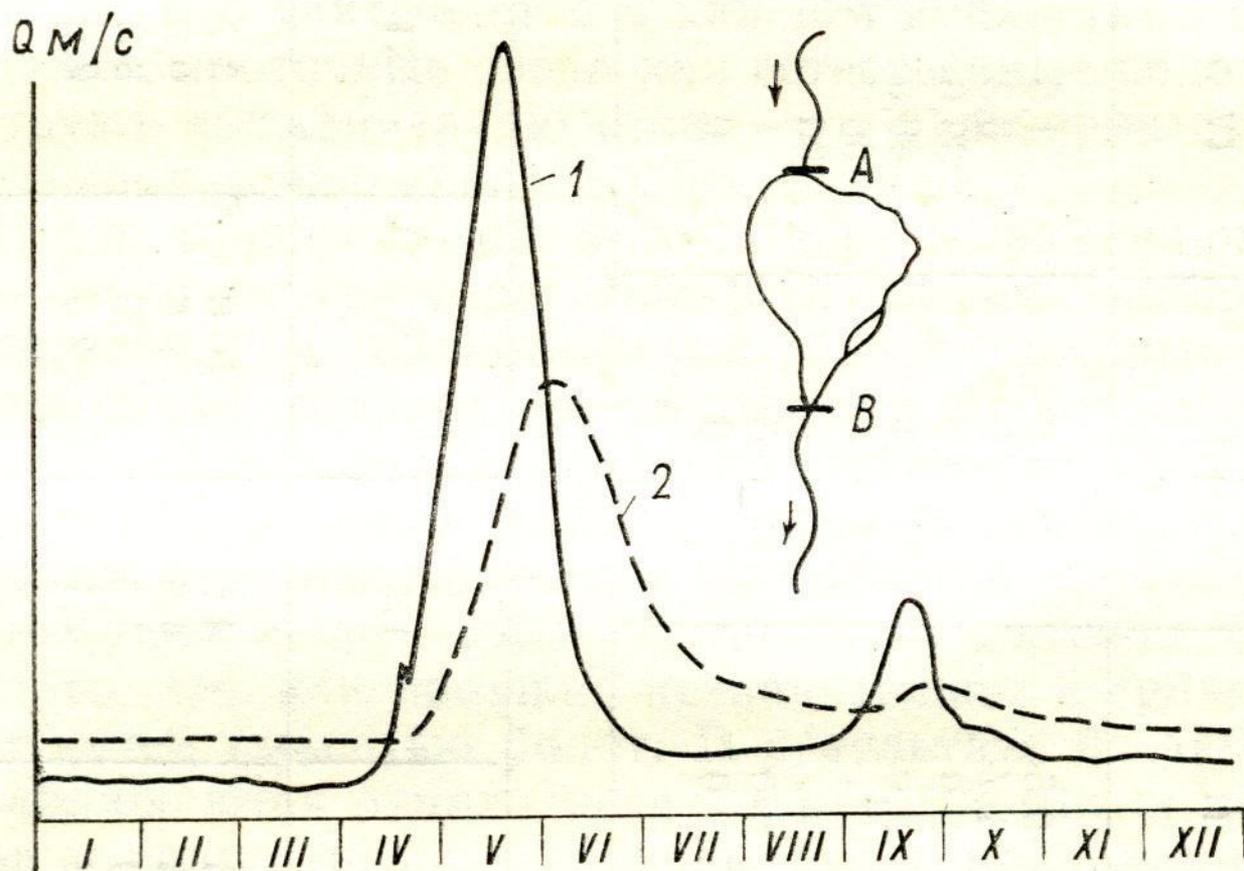


Рис. 5.2. Совмещенные гидрографы притока воды в озеро (1) и стока из озера (2), измеренного в створах А и В.

## Карст

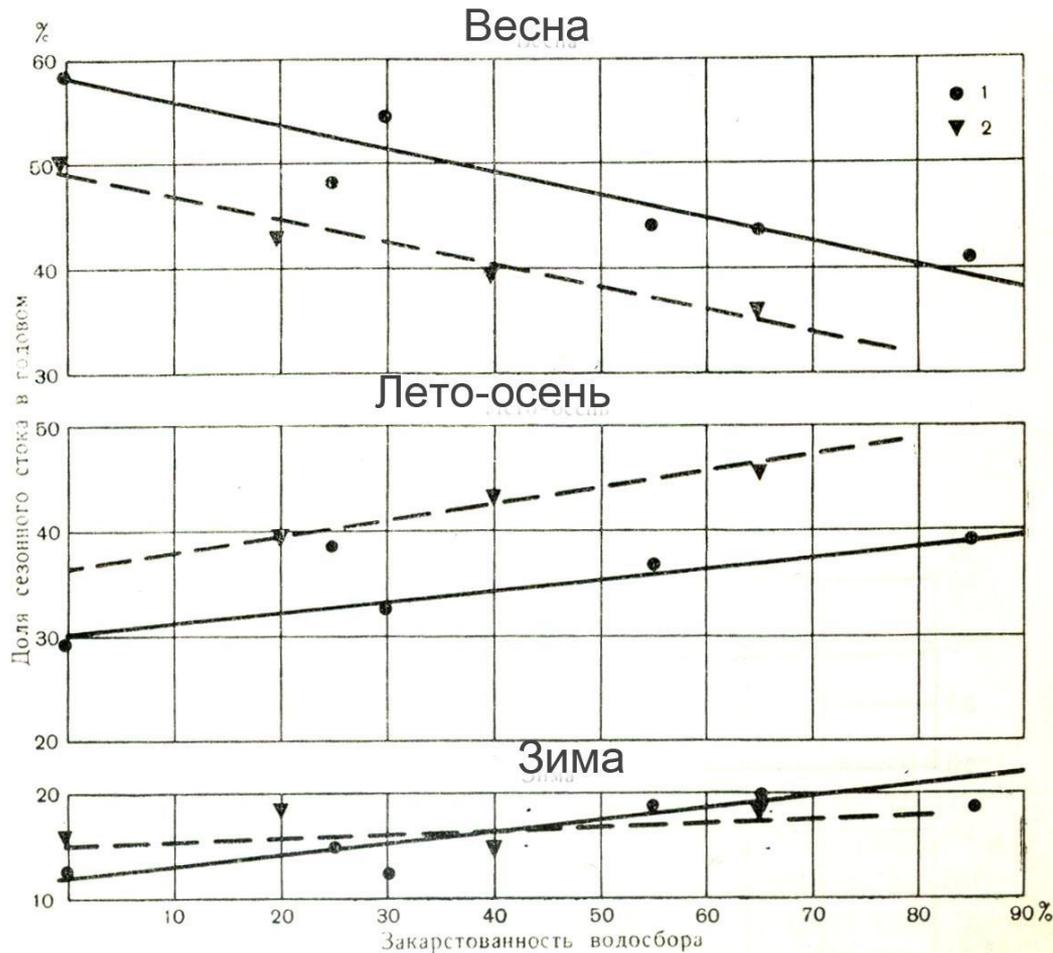


Рис. 73. Зависимость среднего многолетнего сезонного стока рек IV района (в % от годового) от величины закарстованной площади (в % от общей площади водосбора).

1 — реки подрайона а, 2 — реки подрайона б.

Карст оказывает регулирующее влияние на речной сток.

В период половодий и паводков вода заполняет подземные резервуары, которые обеспечивают дополнительное питание рекам в межень.

# КАРСТОВАЯ ПЕЩЕРА



# Карстовая воронка

Плато Караби-яйла (Крым)



Пещера Катерлох – одна из самых богатых сталактитовых пещер Австрии





## Площадь водосбора

С увеличением площади водосбора гидрограф стока становится более сглаженным, то есть речной бассейн является регулятором стока.

Наиболее неравномерное распределение стока внутри года имеют малые временные водотоки, которые питаются только поверхностными водами.

Влияние площади водосбора на внутригодовое распределение стока средних рек выражено не столь явно.

## Заболоченность и залесенность



Болота и лес оказывают регулирующее влияние на речной сток, но это влияние выражено слабо и часто затушевывается другими факторами.

## Наледь на протоке Кытыл (Якутия)



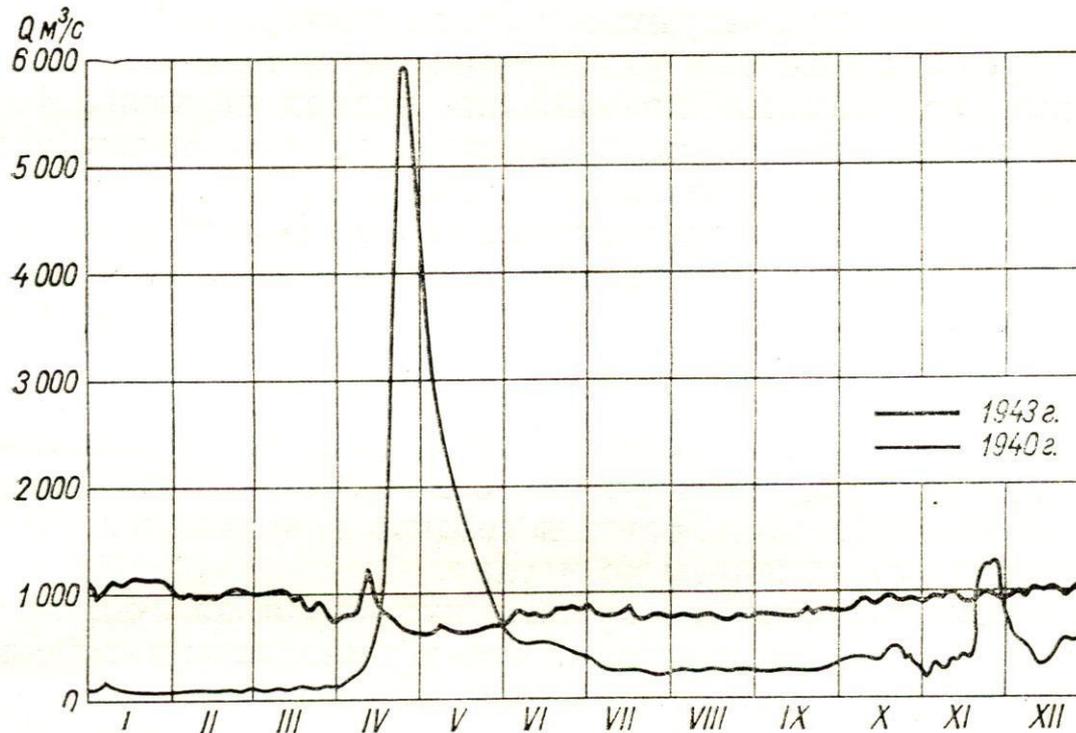
**Грунтовые наледи** образуются зимой за счёт грунтовых вод, выходящих из слоя между многолетнемерзлым и сезонно-мёрзлым горизонтами.

При низкой температуре вода быстро замерзает.

В летний сезон наледи являются дополнительным источником питания.

# Антропогенные факторы

## Регулирование стока



Водоохранилища выравнивают сток в нижних бьефах.

При многолетнем и сезонном регулировании меженный сток заметно увеличивается.

Рис. 5.3. Гидрографы стока р. Волги у г. Ярославля до создания Рыбинского водохранилища (1940 г.) и после (1943 г.).

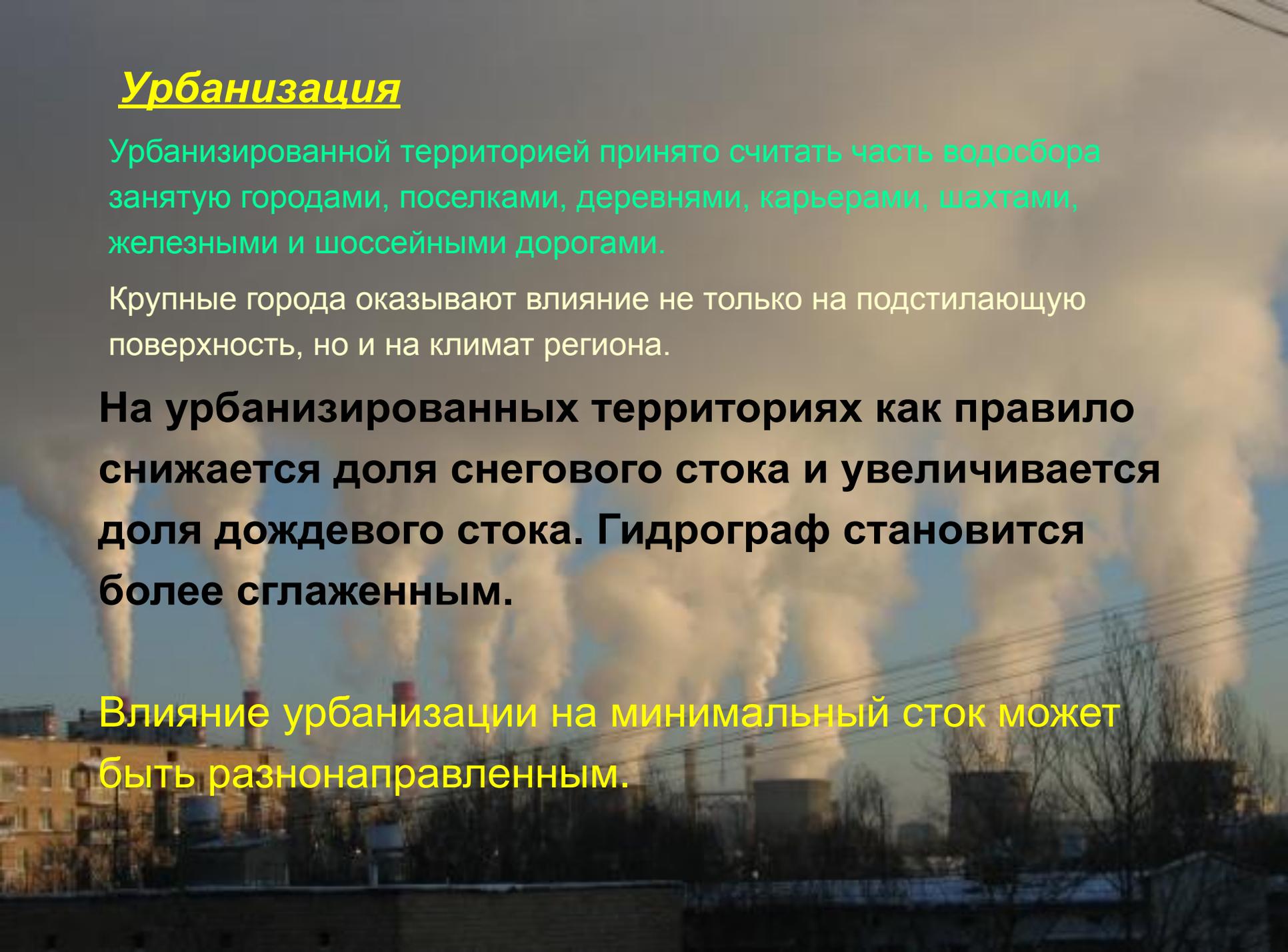
## Урбанизация

Урбанизированной территорией принято считать часть водосбора занятую городами, поселками, деревнями, карьерами, шахтами, железными и шоссейными дорогами.

Крупные города оказывают влияние не только на подстилающую поверхность, но и на климат региона.

**На урбанизированных территориях как правило снижается доля снегового стока и увеличивается доля дождевого стока. Гидрограф становится более сглаженным.**

**Влияние урбанизации на минимальный сток может быть разнонаправленным.**



## **Межбассейновая переброска стока и водозаборы**

могут существенно искажать естественный водный режим рек.

Степень влияния этих факторов зависит от объема изымаемой воды.